

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-1-79-90>



УДК 004.932

Применение алгоритмов обработки изображений для улучшения визуализации структур поджелудочной железы

Д. В. Сергеев¹ ✉

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: sdv583@mail.ru

Резюме

Целью исследования является разработка и сравнительный анализ различных методов обработки медицинских изображений с целью оптимизации визуализации структур поджелудочной железы. Основной задачей является выявление наиболее эффективного метода обработки изображений для достижения наилучшего качества визуализации, что, в свою очередь, имеет важное значение для точной диагностики и лечения пациентов с патологиями поджелудочной железы.

Методы. В рамках нашего исследования были применены различные методы, включая анализ огромного библиографического материала, использование разнообразных инструментов для сбора данных и привлечение экспертных знаний и подходов.

Результаты. Полученные результаты обсуждаются с учетом практической значимости для медицины. Оптимизация визуализации поджелудочной железы с помощью различных методов обработки изображений может существенно улучшить точность диагностики ее заболеваний. Улучшенная визуализация позволяет более точно выявлять и анализировать патологические изменения, что способствует раннему выявлению заболеваний и более эффективному лечению пациентов. Это может способствовать дальнейшему улучшению методов диагностики и лечения заболеваний поджелудочной железы, повышая качество медицинского обслуживания.

Заключение. Разные методы сегментации, такие как пороговая обработка, машинное обучение и активные контуры, имеют свои преимущества и ограничения в визуализации структур поджелудочной железы. Выбор оптимального метода зависит от конкретной задачи и требований к точности и скорости обработки изображений. Дальнейшие исследования должны сосредоточиться на разработке более эффективных алгоритмов сегментации и их применимости в клинической практике для улучшения диагностики и лечения заболеваний поджелудочной железы.

Ключевые слова: медицинские изображения; сегментация; поджелудочная железа; методы обработки изображений; качественный анализ; количественный анализ; статистическая обработка.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Сергеев Д. В. Применение алгоритмов обработки изображений для улучшения визуализации структур поджелудочной железы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2025. Т. 15, № 1. С. 79–90. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-1-79-90>

Поступила в редакцию 19.01.2025

Подписана в печать 17.01.2025

Опубликована 31.03.2025

© Сергеев Д. В., 2025

Application of image processing algorithms to improve visualization of pancreatic structures

Dmitry V. Sergeev¹ ✉

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: sdv583@mail.ru

Abstract

The purpose of the research is to develop and compare various methods of processing medical images in order to optimize visualization of pancreatic structures. The main task is to identify the most effective image processing method to achieve the best visualization quality, which, in turn, is important for the accurate diagnosis and treatment of patients with pancreatic pathologies.

Methods. As part of our research, various methods were applied, including the analysis of a huge bibliographic material, the use of various tools for data collection, and the involvement of expert knowledge and approaches.

Results. The results obtained are discussed taking into account their practical significance for medicine. Optimization of visualization of the pancreas using various image processing methods can significantly improve the accuracy of diagnosis of its diseases. Improved visualization makes it possible to more accurately identify and analyze pathological changes, which contributes to the early detection of diseases and more effective treatment of patients. This can contribute to further improvement of methods of diagnosis and treatment of pancreatic diseases, improving the quality of medical care.

Conclusion. Different segmentation methods, such as threshold processing, machine learning, and active contours, have their advantages and limitations in visualizing pancreatic structures. The choice of the optimal method depends on the specific task and the requirements for the accuracy and speed of image processing. Further research should focus on developing more efficient segmentation algorithms and their applicability in clinical practice to improve diagnosis and treatment of pancreatic diseases.

Keywords: medical images; segmentation; pancreas; image processing methods; qualitative analysis; quantitative analysis; statistical processing.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Sergeev D.V. Application of image processing algorithms to improve visualization of pancreatic structures. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2025;15(1):79–90. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-1-79-90>

Received 19.01.2025

Accepted 14.01.2025

Published 31.03.2025

Введение

Исследование методов обработки медицинских изображений представляет собой важный этап в современной медицинской диагностике и лечении. Структуры поджелудочной железы играют ключевую роль в патофизиологии

многих заболеваний, и точное определение их контуров имеет принципиальное значение для диагностики и планирования лечения. С целью повышения эффективности и точности сегментации структур поджелудочной железы в данной работе проводится сравнительный

анализ различных методов обработки изображений.

Алгоритмы обработки изображений играют ключевую роль в улучшении визуализации структур поджелудочной железы, позволяя повысить точность диагностики и планирования лечения. Исследования в этой области охватывают различные методы и технологии. М. Ю. Юкина с коллегами [1] исследовали применение диффузионно-взвешенной МРТ для диагностики инсулиномы поджелудочной железы. Н. Б. Губергиц и соавторы [2] изучали структурные особенности поджелудочной железы при хроническом панкреатите. В. А. Белозеров с коллегами [3] предложили модели и алгоритмы для дифференциальной диагностики очаговых образований поджелудочной железы на основе данных эндосонографии с мягкими вычислениями. А. А. Максимова [4] анализировала методы обработки медицинских данных, а Д. В. Нестеров с соавторами [5] провели сравнительную оценку качества изображения поджелудочной железы с помощью спиральной и динамической КТ. И. В. Николаева с коллегами [6] изучили возможности ультразвуковой диагностики рака поджелудочной железы. К. Ю. Кандурова и соавторы [7] исследовали перспективы оптической биопсии для интраоперационного анализа тканевого метаболизма. А. В. Барзенков [8] разработал гибридную интеллектуальную систему с когнитивным моделированием для диагностики болезней поджелудочной железы. Б. В. Кожухарь [9] предложил основы

обработки медицинских изображений, а Г. Г. Кармазановский с коллегами [10] исследовали диагностическую значимость трехмерных реконструкций КТ-изображений при протоковой аденокарциноме поджелудочной железы. С. А. Хоружик [11] рассматривал основы КТ-визуализации, включая пост-процессинговую обработку изображений, а Г. М. Кондратова с коллегами [12] изучили технологию трехмерного ультразвукового исследования желчного пузыря. Д. А. Бойко с соавторами [13] предложили метод визуализации патологических структур на маммограммах. А. В. Дубровин [14] исследовал переход от PACS к телерадиологии, а А. С. Коваленко [15] подготовку медицинских изображений для обработки в больших информационных хранилищах. А. А. Холева [16] оценили возможность компьютерной томографии в определении качества хирургического лечения у пациентов правой половины ободочной кишки. А. А. Литвин [17] рассмотрел радиомику и анализ текстур цифровых изображений в онкологии. Н. А. Обухова [18] изучала методы обработки медицинских ТВ-изображений. А. В. Святненко, А. Е. Демко, Д. А. Суров [19] исследовали аспекты технологии дополненной цифровой реальности (AR) в реконструктивной хирургии желчных протоков, а Р. В. Козарь [20] предложил методы распознавания медицинских изображений для задач компьютерной диагностики.

Нами была проанализирована эффективность методов обработки изобра-

жений для сегментации структур поджелудочной железы (рис. 1). В своих исследованиях сосредотачивались на сравнении классических подходов, таких как метод пороговой обработки, с современными методами, основанными на машинном обучении. Эти исследования вносят важный вклад в понимание оптимальных подходов к обработке медицинских изображений и их влияния на точность диагностики и лечения заболеваний поджелудочной железы.

Применение алгоритмов обработки изображений значительно улучшает визуализацию структур поджелудочной железы, что способствует повышению точности диагностики и эффективности лечения различных заболеваний. Исследования показывают, что диффузионно-взвешенная МРТ является эффективным методом для выявления инсулиномы поджелудочной железы [1]. Алгоритмы для дифференциальной диагностики очаговых образований, разработанные на основе данных эндосонографии, позволяют повысить точность анализа и улучшить процесс диагностики [3]. Использование технологий трехмерной реконструкции КТ-изображений повышает диагностическую ценность при исследовании протоковой аденокарциномы [10]. Эти и другие достижения в области обработки медицинских изображений открывают новые перспективы в диагностике и лечении патологий поджелудочной железы.

Алгоритмы обработки изображений продолжают развиваться, предлагая новые возможности для точного анализа и

визуализации сложных анатомических структур поджелудочной железы. Современные методы, такие как радиомика и текстурный анализ изображений, активно применяются в онкологии для улучшения диагностики злокачественных опухолей [17]. Кроме того, внедрение оптических биопсий и технологий интраоперационного анализа тканей усиливает возможности малоинвазивной хирургии и помогает своевременно корректировать тактику лечения [7].

Материалы и методы

Для проведения исследования был использован набор медицинских изображений, содержащий информацию о структурах поджелудочной железы различных пациентов. Диагнозы пациентов включали такие патологии, как кисты поджелудочной железы, хронический панкреатит, опухоли и конкременты в панкреатическом протоке. Эти изображения были получены с помощью спиральной компьютерной томографии (СКТ) с контрастным усилением и были предварительно обработаны с целью исключения артефактов и шумов.

Для сегментации структур поджелудочной железы были применены различные методы обработки изображений, включая методы пороговой обработки, методы, основанные на машинном обучении, алгоритмы машинного обучения, такие как сверточные нейронные сети (U-Net) и алгоритмы на основе случайных лесов, а также методы активных контуров. Каждый метод был тщательно настроен и применен к набору

изображений с целью определения и выделения структур поджелудочной железы с высокой точностью и надежностью.

После сегментации структур поджелудочной железы были проведены качественные и количественные анализы полученных результатов. Качественный анализ включал визуальную оценку точности сегментации экспертами в области радиологии, а также проверку соответствия формы и контуров сегментированных структур анатомическим характеристикам поджелудочной железы.

Количественный анализ включал вычисление метрик, таких как индекс Дайса (Dice coefficient) и коэффициент Жаккара (Jaccard index), которые оценивали сходство сегментированных структур с эталонными данными. В качестве эталонных объектов были выбраны вручную аннотированные изображения, созданные радиологами. Также была произведена оценка времени и вычислительных ресурсов, затраченных на проведение сегментации для каждого метода, чтобы оценить их эффективность и применимость в клинической практике.

Результаты и их обсуждение

Разнообразие методов сегментации включает в себя как классические подходы, такие как методы пороговой обработки, так и более современные методы, основанные на машинном обучении, а также методы активных контуров и другие:

1. Метод пороговой обработки основан на определении порогового

значения яркости пикселей, при котором объекты на изображении разделяются от фона. Этот метод отлично подходит для сегментации объектов с ярко выраженными контурами и хорошим контрастом с фоном. Величина порогового значения в каждом конкретном случае устанавливалась эмпирически на основе анализа гистограммы яркости изображений [1; 7; 20]. Для изображений с высоким контрастом применялись стандартные значения, в то время как для изображений с низким контрастом пороговое значение адаптировалось в зависимости от характеристик каждого изображения.

2. Методы, основанные на машинном обучении, включают в себя различные алгоритмы, такие как сверточные нейронные сети и методы глубокого обучения. Для реализации сегментации использовалась архитектура сверточных нейронных сетей на базе U-Net, которая включает в себя симметричный кодировщик-декодировщик с блоками свертки и деконволюции для извлечения признаков и восстановления точной формы объектов. Эти сети позволяют автоматически изучать признаки объектов на изображении и выделять их с высокой точностью, даже в условиях низкого контраста и размытости.

3. Методы активных контуров, или затравочных линий, представляют собой алгоритмы, которые используют информацию о контурах объектов на изображении для их сегментации. Эти методы особенно эффективны в случаях, когда объекты имеют сложные формы или неровные контуры [1; 3; 20].

Кроме того, существует ряд других методов, таких как методы, основанные на геометрических характеристиках объектов, методы, использующие информацию о текстуре и цвете, а также комбинированные методы, сочетающие

различные подходы для достижения наилучших результатов сегментации.

Важно отметить, что не существует универсального метода сегментации, который был бы идеальным для всех случаев (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение методов сегментации изображений

Table 1. Comparison of image segmentation methods

Метод	Достоинства	Недостатки
Пороговая обработка	Простой и быстрый метод	Чувствителен к шуму и неоднородности освещения
	Не требует сложных вычислений	Не подходит для объектов со сложными формами или нечеткими границами
	Эффективен для изображений с высоким контрастом	Может приводить к образованию «дыр» в сегментированных областях
Методы машинного обучения	Высокая точность сегментации	Требуют больших объемов обучающих данных
	Способность работать в условиях низкого контраста и размытости	Могут быть сложными для реализации и обучения
	Автоматическое обучение на основе данных	Не всегда интерпретируемы
Методы активных контуров	Эффективны для сегментации объектов со сложными формами	Требуют ручной инициализации контуров
	Учитывают информацию о контурах объектов	Чувствительны к шуму и неоднородности освещения
	Могут быть интерактивными	Могут быть вычислительно затратными

В ходе сравнительного анализа результатов различных методов обработки изображений было обнаружено, что применение корректировок яркости и контрастности значительно улучшает визуализацию структур поджелудочной

железы (рис. 1). Этот метод позволяет более четко выделить контуры объектов на изображении и повысить их контрастность, что делает даже мелкие детали более различимыми.

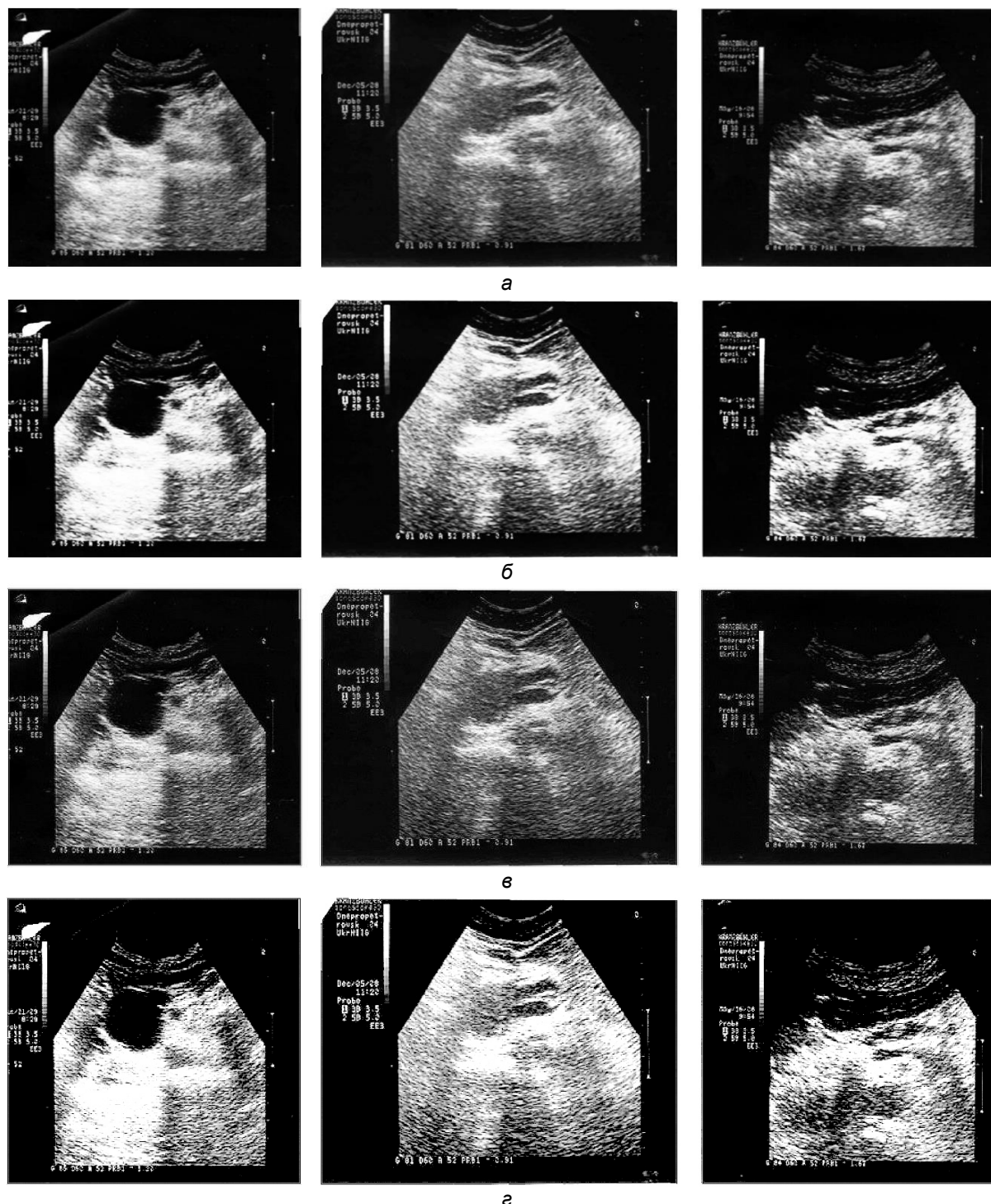


Рис. 1. Применение различных методов обработки изображений для оптимизации визуализации структур поджелудочной железы (киста головки поджелудочной железы, формирующаяся киста головки поджелудочной железы, конкременты в главном панкреатическом протоке): а – исходное изображение; б – изображение с применением корректировок яркости и контрастности; в – изображение с применением фильтрации шума; г – изображение с улучшением и изменением уровней [2]

Fig. 1. Application of various image processing methods to optimize visualization of pancreatic structures (Pancreatic head cyst, emerging pancreatic head cyst, concretions in the main pancreatic duct): а – the original image; б – the image using brightness and contrast adjustments; в – image with noise filtering; г – image with improvement and change of levels [2]

Одновременно с этим использование фильтрации шума также оказывает положительное воздействие на качество изображений поджелудочной железы. Заметно уменьшается количество артефактов и мелких помех на изображении, что способствует более точной интерпретации и анализу структур.

Важным результатом является также применение улучшения и изменения уровней, что позволяет более детально выделить различные элементы на изображении и обеспечить более точное отображение аномалий и патологических процессов в поджелудочной железе.

Таким образом, сравнение различных методов обработки изображений позволяет выбрать оптимальный подход для достижения наилучшего качества визуализации структур поджелудочной железы, что важно для дальнейшей точной диагностики и лечения пациентов.

Выводы

1. В ходе сравнительного анализа методов обработки изображений для сегментации структур поджелудочной железы обнаружено, что методы, основанные на машинном обучении, демонстрируют более высокую точность и надежность по сравнению с классическими

подходами, такими как метод пороговой обработки. Например, сверточные нейронные сети позволяют автоматически изучать признаки объектов на изображении и выделять их с высокой точностью, что особенно важно в условиях низкого контраста и размытости.

2. Оптимизация визуализации структур поджелудочной железы путем корректировки яркости, контрастности, фильтрации шума и улучшения уровней демонстрирует значительное улучшение качества изображений. Например, после применения корректировок контуры объектов на изображении становятся более четкими и контрастными, что облегчает их интерпретацию и анализ.

3. После анализа различных методов обработки изображений оптимальным вариантом для дальнейшего применения в медицинской практике являются методы, основанные на машинном обучении, такие как сверточные нейронные сети. Несмотря на более высокие временные и ресурсные затраты, по сравнению с другими методами, эти подходы обеспечивают наивысшую точность сегментации и сохранение формы и контуров структур поджелудочной железы, что является критически важным для точной диагностики и лечения пациентов.

Список литературы

1. Диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография в диагностике инсулиномы поджелудочной железы: клинический случай / М. Ю. Юкина, Н. Ф. Нуралиева, Е. А. Трошина [и др.] // Альманах клинической медицины. 2018. Т. 46, № 3. С. 289–295. EDN XULSYH. <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2018-46-3-289-295>

2. Губергиц Н. Б., Крылова Е. А., Гравировская Н. Г. Структурные особенности поджелудочной железы у больных различными клиничко-морфологическими формами хронического панкреатита // Медицинский алфавит. 2019. Т. 2, № 13(388). С. 34–38. EDN QTPGGI. [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-2-13\(388\)-34-38](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-2-13(388)-34-38)

3. Модели и алгоритмы дифференциальной диагностики очаговых образований поджелудочной железы по результатам эндосонографии с использованием технологии мягких вычислений / В. А. Белозеров, О. И. Охотников, Н. А. Кореневский, Н. Н. Григорьев // Диагностическая и интервенционная радиология. 2023. Т. 17, № 1. С. 49–58. EDN OUQVUT. <https://doi.org/10.25512/DIR.2023.17.1.05>

4. Максимова А. А. Анализ методов обработки медицинских данных // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2016. № 2(13). С. 5. EDN WHAYLP

5. Нестеров Д. В., Розенгауз Е. В. Сравнительная оценка качества изображения поджелудочной железы при спиральной и динамической компьютерной томографии // Лучевая диагностика и терапия. 2013. № 1(4). С. 58–62. EDN PYZLBN

6. Николаева И. В., Рамазан А. Б., Цой О. Г. Ультразвуковая диагностика рака поджелудочной железы // Медицинский журнал Астана. 2019. № 2(100). С. 154–160. EDN LPSYTM

7. Методы оптической биопсии и их перспективы применения для интраоперационного анализа тканевого метаболизма и микроциркуляции крови в мини-инвазивной хирургии / К. Ю. Кандурова, В. В. Дремин, Е. А. Жеребцов [и др.] // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2018. Т. 17, № 3(67). С. 71–79. EDN YAUORV. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2018-17-3-71-79>

8. Барзенков А. В. Гибридная интеллектуальная система с элементами когнитивного моделирования для диагностики болезней поджелудочной железы // Перспективы науки. 2019. № 5(116). С. 191–194. EDN IAFBWC

9. Кожухарь Б. В. Основы обработки медицинских изображений // Новая наука: Современное состояние и пути развития. 2016. № 5-2. С. 189–192. EDN VVVPPB

10. Диагностическая значимость трехмерных реконструкций КТ-изображений у пациентов с протоковой аденокарциномой поджелудочной железы / Г. Г. Кармазановский, Я. И. Нерестюк, А. Г. Кригер, А. В. Хайриева // Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2017. Т. 7, № 1. С. 69–76. EDN YMFRXX. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2017-7-1-69-76>

11. Хоружик С. А., Михайлов А. Н. Основы КТ-визуализации Часть 2. Постпроцессинговая обработка изображений // Радиология – практика. 2011. № 4. С. 52–65. EDN NYBQMX

12. Кондратова Г. М., Митьков В. В., Брюховецкий Ю. А. Технология трехмерного ультразвукового исследования желчного пузыря // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2007. № 3. С. 14–27. EDN JWWSNZ

13. Бойко Д. А., Филатова А. Е. Метод визуализации патологических структур на маммограммах // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. 2013. № 39(1012). С. 9–14. EDN RCNMQJ
14. Дубровин А. В., Кошкаров А. А. От PACS к телерадиологии // Врач и информационные технологии. 2017. № 3. С. 106–111. EDN ZGYVPN
15. Коваленко А. С., Пезенцали А. А., Царенко Е. К. Подготовка медицинских изображений к обработке в больших информационных хранилищах // Кибернетика и вычислительная техника. 2014. № 2(176). С. 46–53. EDN QRQXTB
16. Возможности компьютерной томографии в оценке качества хирургического лечения у пациентов с опухолями правой половины ободочной кишки / А. А. Холева, Т. А. Агабабян, А. А. Невольских [и др.] // Колопроктология. 2024. Т. 23, № 3(89). С. 87–99. EDN YLQXDK. <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2024-23-3-87-99>
17. Радиомика и анализ текстур цифровых изображений в онкологии (обзор) / А. А. Литвин, Д. А. Буркин, А. А. Кропинов, Ф. Н. Парамзин // Современные технологии в медицине. 2021. Т. 13, № 2. С. 97–106. EDN AITKVR. <https://doi.org/10.17691/stm2021.13.2.11>.
18. Обухова Н. А., Мотыко А. А. Методы обработки и анализа медицинских ТВ изображений // Телевидение: передача и обработка изображений. 2016. Т. 1. С. 10–15. EDN XINNSJ
19. Первый опыт применения технологии дополненной цифровой реальности (AR) в реконструктивной хирургии желчных протоков / А. В. Святненко, А. Е. Демко, Д. А. Суров [и др.] // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н. И. Пирогова. 2024. Т. 19, № 2. С. 159–163. EDN XWMXXS. https://doi.org/10.25881/20728255_2024_19_2_159
20. Козарь Р. В., Навроцкий А. А., Гуринович А. Б. Методы распознавания медицинских изображений в задачах компьютерной диагностики // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. 2020. № 3(120). С. 116–121. EDN HJRPNR

References

1. Yukina M.Y., Nuralieva N.F., Troshina E.A., et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the diagnosis of pancreatic insulinoma: a clinical case. *Al'manakh klinicheskoi meditsiny = Almanac of Clinical Medicine*. 2018;46(3):289–295. (In Russ.) EDN XULSYH. <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2018-46-3-289-295>
2. Gubergits N.B., Krylova E.A., Gravirovskaya N.G. Structural features of the pancreas in patients with various clinical and morphological forms of chronic pancreatitis. *Meditinskii alfavit = The Medical Alphabet*. 2019;2(13):34–38. (In Russ.) EDN QTPGGI. [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-2-13\(388\)-34-38](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-2-13(388)-34-38)

3. Belozеров V.A., Okhotnikov O.I., Korenevsky N.A., Grigoriev N.N. Models and algorithms of differential diagnosis of pancreatic nodules based on the results of endosonography using soft computing technology. *Diagnostichestskaya i interventsionnaya radiologiya = Diagnostic and Interventional Radiology*. 2023;17(1):49–58. (In Russ.) EDN OUQVUT. <https://doi.org/10.25512/DIR.2023.17.1.05>
4. Maksimova A.A. Analysis of medical data processing methods. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technologies*. 2016;(2):5. (In Russ.) EDN WHAYLP
5. Nesterov D.V., Rozengauz E.V. Comparative assessment of the image quality of the pancreas in spiral and dynamic computed tomography. *Luchevaya diagnostika i terapiya = Radiation Diagnostics and Therapy*. 2013;(1):58–62. (In Russ.) EDN PYZLBN
6. Nikolaeva I.V., Ramazan A.B., Tsoi O.G. Ultrasound diagnosis of pancreatic cancer. *Astana Medical Journal*. 2019;(2):154–160. (In Russ.) EDN LPSYTM
7. Kandurova K.Y., Dremin V.V., Zhrebtsov E.A., et al. Optical biopsy methods and their application prospects for intraoperative analysis of tissue metabolism and blood microcirculation in minimally invasive surgery. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya = Regional Blood Circulation and Microcirculation*. 2018;17(3):71–79. (In Russ.) EDN YAUORV. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2018-17-3-71-79>
8. Barzenkov A.V. Hybrid intelligent system with elements of cognitive modeling for the diagnosis of pancreatic diseases. *Perspektivy nauki = Perspectives of Science*. 2019;(5):191–194. (In Russ.) EDN IAFBWC
9. Kozhukhar B.V. Fundamentals of medical image processing. *Novaya nauka: Sovremennoe sostoyanie i puti razvitiya = New Science: Current State and Development Paths*. 2016;(5-2):189–192. (In Russ.) EDN VVPPPB
10. Karmazanovsky G.G., Nrestyuk Y.I., Krieger A.G., Khairieva A.V. Diagnostic significance of three-dimensional CT image reconstructions in patients with ductal adenocarcinoma of the pancreas. *Rossiiskii elektronnyi zhurnal luchevoi diagnostiki = Russian Electronic Journal of Radiation Diagnostics*. 2017;7(1):69–76. (In Russ.) EDN YMFRXX. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2017-7-1-69-76>
11. Khoruzhik S.A., Mikhailov A.N. Fundamentals of CT imaging Part 2. Postprocessing image processing. *Radiologiya – praktika = Radiology – Practice*. 2011;(4):52–65. (In Russ.) EDN NYBQMX
12. Kondratova G.M., Mitkov V.V., Bryukhovetsky Y.A. Technology of three-dimensional ultrasound examination of the gallbladder. *Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika = Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2007;(3):14–27. (In Russ.) EDN JWWSNZ
13. Boyko D.A., Filatova A.E. Method of visualization of pathological structures on mammograms. *Vestnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta Khar'kovskii politekhnicheskii institut. Seriya: Informatika i modelirovanie = Bulletin of the National Technical University*

Kharkiv Polytechnic Institute. Series: Computer Science and Modeling. 2013;(39):9–14. (In Russ.) EDN RCNMQJ

14. Dubrovin A.V., Koshkarov A.A. From PACS to teleradiology. *Vrach i informatsionnye tekhnologii = Doctor and Information Technologies.* 2017;(3):106–111. (In Russ.) EDN ZGYVPN

15. Kovalenko A.S., Pesentsali A.A., Tsarenko E.K. Preparation of medical images for processing in large information repositories. *Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika = Cybernetics and Computer Engineering.* 2014;(2):46–53. (In Russ.) EDN QRQXTB

16. Holeva A.A., Aghababayan T.A., Nevolskikh A.A., et al. Possibilities of computed tomography in assessing the quality of surgical treatment in patients with tumors of the right half of the colon. *Koloproktologiya = Coloproctology.* 2024;23(3):87–99. (In Russ.) EDN YLQXDK. <https://doi.org/10.33878/2073-7556-2024-23-3-87-99>

17. Litvin A.A., Burkin D.A., Kropinov A.A., Paramzin F.N. Radiomics and texture analysis of digital images in oncology (review). *Sovremennye tekhnologii v meditsine = Modern Technologies in Medicine.* 2021;13(2):97–106. (In Russ.) EDN AITKVR. <https://doi.org/10.17691/stm2021.13.2.11>

18. Obukhova N.A., Motyko A.A. Methods of processing and analyzing medical TV images. *Televidenie: peredacha i obrabotka izobrazhenii = Television: Transmission and Image Processing.* 2016;(1):10–15. (In Russ.) EDN XINNSJ

19. Svyatnenko A.V., Demko A.E., Surov D.A., et al. The first experience of using augmented digital reality (AR) technology in reconstructive surgery of the bile ducts. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo tsentra im. N.I. Pirogova = Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov.* 2024;19(2):159–163. (In Russ.) EDN XWMXXS. https://doi.org/10.25881/20728255_2024_19_2_159

20. Kozar R.V., Navrotsky A.A., Gurinovich A.B. Methods of recognition of medical images in computer diagnostics problems. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny = Proceedings of Gomel State University named after F. Skoriny.* 2020;(3):116–121. EDN HJRPNR

Информация об авторе / Information about the Author

Сергеев Дмитрий Викторович, аспирант,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: sdv583@mail.ru,
ORCID: 0009-0001-2236-3449

Dmitry V. Sergeev, Post-Graduate
Student, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: sdv583@mail.ru,
ORCID: 0009-0001-2236-3449